



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



## **FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

### **DEPARTAMENTO ACADEMICO DE MICROBIOLOGIA Y PARASITOLOGIA**

**Producción y caracterización de compost de torta de  
cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del  
Norte S.A.C., Ferreñafe. Febrero - Setiembre, 2007.**

## **TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
MICROBIOLOGIA – PARASITOLOGIA**

**PRESENTADO POR:**

**Br. Samamé Saavedra Doris.**

**LAMBAYEQUE – PERU  
2008**

**“PRODUCCION Y CARACTERIZACIÓN DE COMPOST DE  
TORTA DE CACHAZA Y CENIZA DE CALDERA DE LA  
EMPRESA AZUCARERA DEL NORTE S.A.C., FERREÑAFE,  
FEBRERO - SETIEMBRE, 2007.”**

## **TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
MICROBIOLOGIA – PARASITOLOGIA**

**PRESENTADO POR:**

**Br. Samamé Saavedra Doris.**

**APROBADO POR:**

M.Sc. Eduardo Tejada Sánchez  
**PRESIDENTE**

---

M.Sc. Carmen Calderón Arias  
**SECRETARIO**

---

Lic. Julio Silva Estela.  
**VOCAL**

---

M Sc. Carmen Rosa Carreño Farfán  
**PATROCINADORA**

---



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



## **FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

### **DEPARTAMENTO ACADEMICO DE MICROBIOLOGIA Y PARASITOLOGIA**

**Producción y caracterización de compost de torta de  
cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del  
Norte S.A.C., Ferreñafe. Febrero - Setiembre, 2007.**

## **TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
MICROBIOLOGIA – PARASITOLOGIA**

**PRESENTADO POR:**

**Br. Samamé Saavedra Doris.**

**LAMBAYEQUE – PERU  
2008**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres y hermano  
Ana, Julian y William  
respectivamente por ser mis  
motores que me impulsan a seguir  
adelante y también a quienes  
confiaron en mí. (J.F.M.M. y  
Familiares)

## **AGRADECIMIENTO**

Muy agradecida con Dios por ser mi guía e iluminar mi camino y a mis padres, por su esfuerzo y el apoyo que me brindan siempre; así culminar satisfactoriamente mi carrera profesional.

A la profesora Carmen Carreño por su paciencia, enseñanza y buen asesoramiento en la realización y ejecución de mi tesis.

A la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe y al Sr. Tarrillo trabajador de dicha Empresa; por el apoyo brindado e instalaciones prestadas durante la ejecución de la tesis y su aplicación.

# CONTENIDO

I.INTRODUCCION.....	01
II. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS.....	04
1.0 Tota de cachaza y ceniza de caldera.....	04
2.0 Compostaje.....	06
III. MATERIALES Y METODOS.....	09
1.0 Ubicación del lugar de trabajo.....	09
2.0 Población y muestra en estudio.....	11
3.0 Material.....	12
4.0 Métodos.....	12
4.1 Producción de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe.....	12
4.2 Monitorización del proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe.....	15
4.3 Caracterización del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe.....	16
4.4 Evaluación determinación y emergencia de semillas de <i>Raphanus sativus</i> “rabanito” y <i>Coriandrum sativum</i> “culantro” por efecto de la aplicación del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera.....	17
IV. RESULTADOS.....	19
1.0 Análisis físico, químico y microbiológico de torta de cachaza, ceniza de caldera y mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera .....	19
2.0 Variaciones de temperatura, humedad, pH durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera.....	25
3.0 Variaciones de la estructura y el grado de invasión de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	29
4.0 Variaciones de las poblaciones de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, bacterias heterótrofas aerobias termófilas, actinomicetos y hongos filamentosos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	31
5.0 Características físico-químico y microbiológicas del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	35
6.0 Evaluación d germinación <i>Raphanus sativus</i> “rabanito” y <i>Coriandrum sativum</i> “culantro” por efecto de la aplicación de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	36
V. DISCUSION.....	38
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. RECOMENDACIONES.....	48
VIII. RESUMEN.....	49
IX REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	50
X. ANEXOS.....	53

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. ....	09
<b>Figura 2.</b>	Ubicación del lugar de trabajo en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero - setiembre, 2007.....	10
<b>Figura 3.</b>	Ubicación del laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	10
<b>Figura 4.</b>	Torta de cachaza recolectada en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.....	11
<b>Figura 5.</b>	Ceniza de caldera recolectada en la Empresa Azucarera de Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.....	11
<b>Figura 6.</b>	Mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.....	14
<b>Figura 7.</b>	Primer volteo de la cama de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, marzo, 2007.....	15
<b>Figura 8.</b>	Toma de temperatura a la cama de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.....	16
<b>Figura 9.</b>	Parcela demostrativa de la germinación emergencia de semillas de <i>Raphanus sativus</i> “rabanito” y <i>Coriandrum sativum</i> “culantro” por efecto de la aplicación de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera, setiembre, 2007.....	18
<b>Figura 10.</b>	Emergencia de <i>Raphanus sativus</i> “rabanito” y <i>Coriandrum sativum</i> “culantro” por efecto de la aplicación de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera, setiembre, 2007.....	18

<b>Figura 11.</b>	Variaciones de temperatura (°C) durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	25
<b>Figura 12.</b>	Etapas térmicas diferenciadas en el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	26
<b>Figura 13.</b>	Variaciones de humedad (%) durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	27
<b>Figura 14.</b>	Variaciones del ph durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	28
<b>Figura 15.</b>	Variaciones de la estructura durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	29
<b>Figura 16.</b>	Variaciones del grado de invasión de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	30
<b>Figura 17.</b>	Variaciones de las poblaciones (UFC / g) de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	31
<b>Figura 18.</b>	Variaciones de las poblaciones (UFC / g) de bacterias heterótrofas aerobias termófilas durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	32
<b>Figura 19.</b>	Variaciones de las poblaciones (UFC / g) de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007.....	33
<b>Figura 20.</b>	Variaciones de las poblaciones (UFC / g) de hongos filamentosos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero – agosto, 2007..	34



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Valores del análisis físico - químico de torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	20
<b>Tabla 2.</b>	Valores del análisis físico - químico de ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	21
<b>Tabla 3.</b>	Valores del análisis físico - químico de la mezcla (2:1) torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	22
<b>Tabla 4.</b>	Valores del análisis microbiológico de torta de cachaza para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	23
<b>Tabla 5.</b>	Valores del análisis microbiológico de ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	24
<b>Tabla 6.</b>	Valores del análisis microbiológico de la mezcla (2:1) torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	24
<b>Tabla 7.</b>	Valores del análisis físico – químico del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	35
<b>Tabla 8.</b>	Valores del análisis microbiológico de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.....	36
<b>Tabla 9.</b>	Comparación de germinación y emergencia de 200 semillas por efecto de dos grupos de estudio control y experimental (compost de torta de cachaza y ceniza de caldera).....	37

## **INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b>	Medios de cultivo.....	54
<b>Anexo 2.</b>	Determinación de humedad por el método gravimétrico de la estufa .....	55
<b>Anexo 3.</b>	Determinación de la estructura y el grado de invasión de actinomicetos .....	56
<b>Anexo 4.</b>	Cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, bacterias heterótrofas aerobias termófilas, actinomicetos y hongos filamentosos .....	57
<b>Anexo 5.</b>	Determinación de las características físicas del compost .....	58

## **I. INTRODUCCION**

Los residuos sólidos son definidos como aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone o esta obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional (Ley General de Residuos Sólidos N° 27314) o de los riesgos que causan a la salud o el ambiente. Su origen puede ser municipal, agropecuario e industrial. Los residuos sólidos industriales generalmente tienen elevado contenido de carbono y cuando son eliminados sin tratamiento al medio ambiente contaminan el suelo y generan malos olores (Armas, 2001).

Además de los residuos sólidos, la utilización de fertilizantes y plaguicidas junto con la ganadería intensiva originan contaminación, erosión y degradación de suelos ocasionando graves consecuencias ambientales debido a que el suelo tiene una tasa de formación tan lenta que se puede considerar como un recurso no renovable a escala humana. El Perú posee sólo 5,92 % de toda su área territorial dedicada a la producción de alimentos por lo que el recurso suelo para fines agrícolas es escaso y de vital importancia para el bienestar de los habitantes (Klein, 1994).

El compostaje representa una alternativa coherente de aprovechamiento simple y de bajo costo para la minimización de los residuos sólidos. Este proceso es considerado como una tecnología ambiental para convertir estos residuos en un producto de alta calidad, logrando reducir el efecto contaminante y a la vez permitiendo su reutilización en la agricultura.

El compostaje se define como una oxidación biológica bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación. Los microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) utilizan el carbono y nitrógeno disponibles en los residuos orgánicos, liberando energía por la actividad metabólica y produciéndose gracias a una serie de reacciones bioquímicas, agua, anhídrido carbónico y sales minerales. Es un proceso complejo y dinámico que se puede dividir en cuatro fases de acuerdo a los cambios de temperatura: fase mesófila (10 a 40 °C), fase termófila (40 a 70 °C), fase de enfriamiento y finalmente fase de maduración (estabilización a temperatura de ambiente). Durante este proceso, la materia orgánica heterogénea es transformada en un producto homogéneo conocido como “compost”, cuya calidad es variable y depende principalmente del tipo de materia orgánica utilizada, técnica de compostaje y tiempo de duración del proceso.

El compost posee un gran valor agronómico, utilizándose como enmienda orgánica en el suelo con el fin de mejorar su estructura, como fertilizante orgánico y como sustrato para la producción de plantas. Es un mejorador de suelos, que disminuye la erosión, y mejora los cultivos en cuanto a cantidad y calidad de los mismos. Su producción trae beneficios directos e indirectos: ingreso económico por el producto, generación de puestos de trabajo, posibilidades de obtener producciones ambientalmente sanas y disminución de materia a eliminar.

La industrialización de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) produce grandes cantidades de residuos orgánicos como torta de cachaza y ceniza de caldera que de no ser adecuadamente tratados originan contaminación ambiental. A nivel local no existe información sobre compostaje de residuos azucareros por lo que la producción y caracterización de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera brindará información aplicable a las condiciones ecológicas propias de la zona.

La ceniza de caldera y la torta de cachaza pueden ser utilizados para la elaboración de abonos orgánicos como el compost, donde los desechos

orgánicos han sido transformados en una enmienda libre de microorganismos patógenos pero con intensa vida microbiana que activa los procesos bioquímicos del suelo a la vez que lo mejora física y químicamente,.

Ante la problemática expuesta se planteó el presente estudio cuyos objetivos fueron producir compost de torta de cachaza y ceniza de caldera y determinar sus características físicas, químicas y microbiológicas en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe durante los meses de Febrero - Agosto, 2007.

## **II. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS**

### **1. Torta de cachaza y ceniza de caldera**

La torta de cachaza, considerada como el subproducto más importante de los ingenios azucareros constituye el lodo filtrado y lavado producido por la precipitación en el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar mezclado, consistente en el encalado, sulfatado y posterior cocción a 102 °C. Es producida a razón de 3 toneladas húmedas (peso húmedo) por cada 100 toneladas de caña de azúcar molida. Sin embargo, esta cantidad y su evaporación varían con las características agroecológicas de la zona, con el cultivo cosechado, eficiencia de la fábrica y el método de clarificación empleado entre otros factores (Chen, 1997).

Según Medina (1999), la cachaza presenta una humedad que oscila entre 65 a 70 % y si se considera en términos de materia seca, su composición aproximada es de 30 a 50 % de fibra (bagacillo), 10 a 15 % de tierra, 10 a 20 % de ceras y grasas, 6 a 12 % de sustancias nitrogenadas, 6 a 16% de azúcar no recuperable y 10 a 15 % de fosfato de cal. El nitrógeno se presenta en forma de combinaciones orgánicas complejas como fosfolípidos y nucleoproteínas; el contenido de fósforo es muy bajo (0,4 %), se encuentra en forma soluble y es fácilmente lixiviable.

La torta de cachaza puede servir como alimento para los animales, fertilizante y como fuente para la extracción de cera cruda. No obstante, comúnmente no se le da utilización de gran valor, además que es necesario su disposición como efluente en la industria azucarera (Medina, 1999). El uso de

cachaza como alimento para rumiantes requiere eliminar las partículas de tierra en el jugo mezclado antes de la clarificación y para evitar el deterioro por hongos y bacterias el alimento procedente de la torta de cachaza debe secarse o usarse inmediatamente. Por tal razón, la aplicación en el campo de la cachaza sería la forma ideal de eliminar este residuo sólido. Sin embargo, debido a su alto contenido de fibra su descomposición es lenta por lo que se recomienda su mezcla con ceniza fina de caldera en una proporción de 4:1 en peso y solo después de un reposo de 25 días podrá ser utilizada como fertilizante complementario, sin perjudicar el crecimiento vegetal (Chen, 1997).

Debido a su alto contenido con fósforo, la torta de cachaza puede ser un buen sustituto del superfosfato simple. Se ha determinado que aplicaciones de cachaza al suelo, mejoran la capacidad de retención de humedad, la densidad aparente, la distribución del tamaño de los poros y la productividad hidráulica de los suelos (Klein, 1994).

La ceniza de caldera es un residuo generado por la utilización del bagazo como combustible. El bagazo es un residuo fibroso, obtenido después de la molienda del tallo de la caña y extracción del jugo y esta constituido por agua, fibra y pequeñas cantidades de sólidos solubles. El quemado del bagazo para la formación de vapor y generación de electricidad es una práctica normal de todas las fabricas azucareras (Armas, 2000).

Chen (1997), determinó que la ceniza de horno de bagazo (CHB) presenta en su composición 60,44 % de sílice ( $\text{SiO}_2$ ); 3,78 % de alúmina ( $\text{AlO}_3$ ); 3,99 % de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ); 1,42 % de óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ); 1,46 % de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); 3,20 % de ácido fosfórico ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ); 6,21 % de potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ) y 4,16 % de óxido de manganeso ( $\text{MnO}$ ). Por lo tanto, la ceniza es de suma utilidad como fuente de microelementos y corrector de acidez en el proceso de compostaje.

## **2. Compostaje**

El proceso de compostaje es definido como una oxidación biológica que ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación, donde los microorganismos (bacterias, hongos, actinomicetos) utilizan el carbono y el nitrógeno disponibles en los residuos orgánicos liberando energía por la actividad metabólica y formando agua, anhídrido carbónico y sales minerales. El proceso de compostaje se divide en cuatro fases de acuerdo a los cambios de temperatura: fase mesófila (10 a 40 °C), fase termófila (40 a 70 °C), fase de enfriamiento y finalmente fase de maduración, estabilización o temperatura de ambiente (Avendaño, 2003). Sin embargo Castillo *et al.*, (2000); concluyeron que la variación de la temperatura durante el compostaje de 90 días, sigue el típico patrón con tres fases diferenciadas; una mesofílica inicial durante la cual el calor generado provoca un rápido ascenso de la temperatura de 28 a 40 °C en menos de 2 días en la mayoría de los casos; una fase termofílica en la cual la temperatura se incrementa hasta casi 60 °C durante los primeros 10 días para finalmente en una tercera fase, disminuir gradualmente y mantenerse en un promedio de 30 °C hasta el final del proceso.

Para obtener un buen compost se deben utilizar desechos de origen animal y vegetal (Ríos *et al.*, 1993; Sánchez, 1999; Klein, 1994). En caso de guanos ricos en proteínas como el de gallináceas, cerdos, conejos, la proporción en peso seco debe ser de 50 % de estiércol y 50 % de desechos vegetales (1:1). Para estiércol pobre en proteínas (vacunos, equinos), la proporción debe ser de 70 % de guano y 30 % en desechos vegetales, 2:1 (Ríos *et al.*, 1993).

Se estudió el efecto de distintas combinaciones porcentuales de desechos orgánicos vegetales y animales así como de diferentes frecuencias de aireación sobre el tiempo de maduración y concentración de nutrientes del compost y se concluyó que para obtener compost en menos tiempo (28 días) se deben mezclar 75 % de desechos vegetales y 25 % de desechos animales con un intervalo de aireación de 4 días. Asimismo se determinó que a mayor proporción de materia orgánica animal mayor es la concentración de nitrógeno mineral pero es menor la concentración de fósforo y potasio. Por el contrario, la



frecuencia de aireación está en relación inversa con la concentración de nitrógeno mientras que está en relación directa con el contenido de fósforo y potasio (Sánchez, 1999). Por su parte Klein (1994), elaboró fosfocompost con desechos biodegradables (papeles, cartones, desperdicios de cocina, restos agrícolas y pecuarios) y roca fosfórica de Bayóvar para regular el pH y enriquecer el compost con fósforo y concluyó que la aplicación de 1 a 3 kilos de fosfobayóvar por m<sup>3</sup> de compostera mejora las características del compost obtenido alcanzando hasta 13,19 % de materia orgánica; 0,68 % de nitrógeno total; 11,26 de razón de C/N; 0,69 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,80 % de K<sub>2</sub>O. Sin embargo, las características microbiológicas fueron semejantes con o sin fosfobayóvar alcanzando un promedio de 2,11 x 10<sup>6</sup> bacterias y 7,61 x 10<sup>6</sup> hongos por gramo de fosfocompost.

Difiore y Albarracín (1998), determinaron el efecto de la adición de bagazo de caña, melaza y harina de arroz durante el compostaje de heno de pasto Guinea (*Panicum maximum*) y estiércol de pollo en la proporción 10:4 y observaron que todos los tratamientos de compost con bagazo de caña presentaron una buena estructura (material con tendencia a ser pegajoso donde no se dificulta su mezcla) desde el primer volteo (18 días), en contraste con el tratamiento control donde la buena estructura fue adquirida a partir del cuarto volteo (34 días). Asimismo, en la estimación visual, el desarrollo de actinomicetos como una medida indirecta para conocer la calidad del compost, fue mayor en los tratamientos con bagazo con porcentajes de colonización de hasta 100 % en contraste con el control donde llegó a 60 %. Sin embargo, los diferentes tipos de compost no mostraron diferencias en cuanto al análisis proximal al final de la fermentación (71 % de humedad; 1 % de cenizas; 3,1 % de proteína; 10,6 % de grasa; 0,03 % a 0,1 % de materia seca; 28 % de materia orgánica y 24 % de carbohidratos totales).

La utilización de materia orgánica contenida en residuos con la posible agregación de biomasa residual forestal existente en la zona de influencia del ingenio permiten obtener abono orgánico cuya aplicación conjunta con abonos minerales mejora sensiblemente la productividad del suelo, más aún en cultivos

como el de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y frutícolas de la zona (Seoánez, 2000).

Morales *et al.*, (2000) elaboraron compost con restos de cosecha de plátano (*Musa spp*), tallos de camote (*Ipomoea batata*) y ceniza de madera, a los que se les añadieron excretas de porcino, vacuno y gallinaza por separado. Según la caracterización microbiológica de cada uno de ellos, el compost donde se añadió gallinaza fue el que presentó mayor población de microorganismos ( $30 \times 10^6$  bacterias;  $28 \times 10^5$  actinomicetos;  $15,5 \times 10^4$  hongos y  $17,5 \times 10^3$  células de *Azotobacter* por gramo de suelo húmedo), seguido del compost donde se añadió estiércol de vacuno, estiércol de porcino y muy debajo el control al que no se le agregó estiércol alguno. Polanco y Sánchez (2004), caracterizaron microbiológicamente el proceso de compostaje de residuos azucareros durante sus fases, inicial mesófila, medio termófila y final o de estabilización, determinando que las bacterias heterótrofas aerobias mesófilas se presentan en promedio de  $1,40 \times 10^6$ ;  $5,30 \times 10^5$  y  $9,40 \times 10^5$  UFC/g de material en compostaje respectivamente. Por su parte la población de bacterias heterótrofas termófilas aumenta drásticamente de  $1,9 \times 10^6$  en la fase inicial a  $1,20 \times 10^7$  en la fase termofílica mientras que las bacterias celulolíticas van disminuyendo a medida que el compostaje va avanzando con valores  $2,40 \times 10^5$  UFC/g en la fase inicial a  $4,0 \times 10$  UFC/g de compost en la fase de estabilización.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 1. Ubicación de lugar de trabajo

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., ubicada en la provincia de Ferreñafe, y en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, provincia de Lambayeque (Figuras 1, 2, 3).



**Figura 1.** Ubicación de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe.



**Figura 2.** Ubicación del lugar de trabajo en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.



**Figura 3.** Ubicación del Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

## 2. Población y muestra de estudio

La población estuvo constituida por torta de cachaza y ceniza de caldera proveniente de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe y la muestra estuvo constituida por 11 TM de torta de cachaza (Figura 4) y 5,5 TM de ceniza de caldera (Figura 5) recolectadas en el mes de febrero de 2007.



**Figura 4.** Torta de cachaza recolectada en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.



**Figura 5.** Ceniza de caldera recolectada en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

### **3. Material**

El material estuvo constituido por torta de cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe, Lambayeque y por semillas de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro”.

#### **3.1 Medios de cultivo (Anexo 1)**

- Agar Sabouraud glucosado
- Agar Plate Count
- Agar Jensen

### **4. Métodos**

#### **4.1 Producción de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.**

Para la producción de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., se utilizó un sistema abierto aplicando la técnica de compostaje en pilas de volteo o en hileras, comúnmente denominado “Método el Montón”. En este sistema, la materia prima previamente mezclada fue amontonada en pilas al aire libre, las mismas que fueron volteadas durante tres oportunidades, periodo después del cual se les dio 2 meses de reposo antes de considerar el compost listo para su utilización.

#### **a. Análisis físico - químico y microbiológico de torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost**

A partir de la torta de cachaza y de la ceniza de caldera recolectada en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., se tomó una muestra de 200 g. La mitad de la muestra (100 g) se llevó al laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Estación Experimental Vista Florida, Chiclayo para realizar el análisis físico - químico y la muestra restante (100g) se llevó al laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque para realizar el análisis microbiológico.

## **b. Mezcla de materia prima para la producción de compost**

La torta de cachaza en una cantidad de 11 TM y ceniza de caldera en una cantidad de 5,5 TM (proporción 2:1) fueron depositadas a campo abierto por separado, formando cada una “un montón”, donde se dejaron reposar durante 4 días. Este periodo de reposo tuvo como objetivo disminuir la humedad de la cachaza de 78 % a 60 %. Después, sobre un área de suelo previamente desmalezada y libre de piedras y terrones, se mezclaron la torta de cachaza y la ceniza de caldera (Figura 6) formando una cama de compostaje de aproximadamente 12 m x 4 m x 1,35 m, sobre la cual se hizo un primer riego o riego ligero consistente en aplicar agua potable en forma de lluvia con una manguera en cantidad suficiente como para humedecer toda la superficie de la cama y mantener una humedad no mayor de 60 °C (aproximadamente 15 minutos).

A continuación de la parte media e interna (núcleo) de la cama de compostaje se tomó una muestra de aproximadamente 1 Kg para el análisis físico - químico y microbiológico en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Estación Experimental Vista Florida, Chiclayo y del laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.

Posteriormente en la cama de compostaje se hicieron riegos ligeros interdiariamente de acuerdo a la necesidad para mantener una humedad no mayor de 60 %.



**Figura 6.** Mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

#### **c. Primer volteo de cama de compostaje**

Transcurrido 1 mes después de la mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera en la cama de compostaje se realizó el primer volteo para lo cual con ayuda de una palana y comenzando en el extremo superior de la cama toda la mezcla fue trasladada poco a poco 0,50 m hacia delante (Figura 7).

Finalizado el volteo se acomodó la cama para mantener su forma y tamaño inicial y a continuación se dio un riego ligero. De manera similar y de acuerdo a la necesidad se hicieron riegos ligeros interdiariamente para mantener un valor de humedad no mayor de 60 %.

#### **d. Segundo volteo de cama de compostaje**

Transcurrido 1 mes y medio después del primer volteo se realizó el segundo volteo de manera similar a lo realizado en el primer volteo.

#### **e. Tercer volteo de cama de compostaje**

Transcurrido 1 mes y medio después del segundo volteo se realizó el tercer volteo de manera similar a lo realizado en el primer volteo.



#### **f. Fase de reposo de cama de compostaje**

Después de realizado el tercer volteo, la mezcla en compostaje fue dejada en reposo durante 2 meses con la aplicación de un riego ligero cada 15 días.



**Figura 7.** Primer volteo de la cama de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, marzo, 2007.

#### **4.2 Monitorización del proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.**

Al inicio del proceso de compostaje (inmediatamente después de la mezcla de la materia prima y el primer riego) y antes de cada uno de los tres volteos se determinaron la temperatura (Figura 8), pH, grado de humedad, estructura y grado de invasión de actinomicetos. Asimismo se tomó una muestra del material en compostaje para realizar la cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, bacterias heterótrofas aerobias termófilas, actinomicetos y hongos filamentosos.

Para determinar la temperatura se utilizó un termómetro marca Initial con rango de temperatura de 0 - 100 °C.

El grado de humedad fue determinado por el método gravimétrico de la estufa descrita en Reupo y Vásquez, 2001 (Anexo 2).

Para medir el pH se utilizó el pHmetro portátil con rango de 0 - 14 y una precisión de  $\pm 0,1$ .

Para determinar la estructura del material en compostaje y el grado de invasión de actinomicetos se siguió la metodología descrita por Difiore y Albarracín, 1998 (Anexo 3).

Para realizar la cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, bacterias heterótrofas aerobias termófilas, actinomicetos y hongos filamentosos se utilizó la metodología descrita por Polanco y Sánchez, 2004 (Anexo 4).



**Figura 8.** Toma de temperatura a la cama de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

#### **4.3 Caracterización del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, agosto, 2007.**

Transcurridos tres volteos y 2 meses de reposo, al producto obtenido o compost de torta de cachaza y ceniza de caldera se le determinaron las características físicas, químicas y microbiológicas.

Para determinar las características físicas del compost obtenido se utilizó la metodología descrita por Avendaño, 2003 (Anexo 5); determinando el tamaño de las partículas, la textura y el color.

La determinación de las características químicas del compost obtenido se realizó en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Estación Experimental Vista Florida, Chiclayo. Se determinaron el pH, porcentaje de humedad, porcentaje de nitrógeno, porcentaje de fósforo, porcentaje de potasio, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbono orgánico y relación de carbono y nitrógeno (C/N).

La determinación de las características microbiológicas del compost obtenido se realizó en el laboratorio de Microbiología y Parasitología, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque siguiendo la metodología de Polanco y Sánchez, 2004 (Anexo 4).

#### **4.4 Evaluación de germinación y emergencia de semillas de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro” por efecto de la aplicación de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera, setiembre, 2007.**

En una parcela de 5,20 m de largo x 3,80 m de ancho se delimitaron ocho surcos, en cuatro de los cuales se aplicó compost de torta de cachaza y ceniza de caldera a chorro continuo en una cantidad de 35 Kg / surco y en los cuatro surcos restantes no se aplicó compost (Figura 9).

A continuación en los surcos aplicados con compost se realizó la siembra de semillas de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro” a razón de dos surcos por especie vegetal. De la misma manera se realizó la siembra en los surcos sin aplicación de compost; realizándose riegos ligeros de acuerdo a los requerimientos de los cultivos.

A partir de la emergencia de las primeras plantas (4 días para *Raphanus sativus* “rabanito” y 12 días para *Coriandrum sativum* “culantro”), se contó interdiariamente el número de plantas emergidas hasta transcurridos los 20 días luego de la siembra (Figura 10).



**Figura 9.** Parcela demostrativa de la germinación y emergencia de de semillas de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro” por efecto de la aplicación de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera, setiembre, 2007.



**Figura 10.** Emergencia de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro” en parcela demostrativa. Empresa Azucarera del Norte S.A.C., provincia de Ferreñafe. Lambayeque, setiembre, 2007.

## **IV. RESULTADOS**

### **1. Análisis físico-químico y microbiológico de torta de cachaza, ceniza de caldera y mezcla torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.**

En la tablas 1, 2 y 3 se observan los valores obtenidos en el análisis físico-químico de la torta de cachaza, ceniza de caldera y mezcla torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.

La torta de cachaza presentó un pH de 7,2; con 78,0 % de humedad, 22 % de materia seca; 68,91% de materia orgánica; 1,80 % de nitrógeno; 0,97 % de fósforo; 0,38 % de potasio; 43,2 % de carbono y 24 de relación C/N.

La ceniza de caldera presentó un pH de 8,7; con 0,70 % de humedad; 99,30 % de materia seca; 8,82 % de materia orgánica; 0,42 % de nitrógeno; 0,42 % de fósforo; 1,74 % de potasio; 5,12 % de carbono y 12,19 de relación C/N.

La mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera presentó un pH de 5,78; con 60 % de humedad; 40 % de materia seca; 59,07 % de materia orgánica; 1,20 % de nitrógeno; 0,63 % de fósforo; 0,54 % de potasio; 29 % de carbono y 24,16 de relación C/N.

**Tabla 1.** Valores del análisis físico - químico de torta de cachaza para la .  
producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C.,

Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

Características físico-químicas	Valor
pH	7,2
Humedad (%)	78,0
Materia seca (%)	22,0
Materia orgánica (%)	68,91
Nitrógeno (%)	1,80
Fósforo ( $P_2O_5$ ) (%)	0,97
Potasio (%)	0,38
Carbono (%)	43,2
Relación C/N	24,0

**Tabla 2.** Valores del análisis físico-químico de ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

Características físico-químicas	Valor
pH	8,70
Humedad (%)	0,70
Materia seca (%)	99,30
Materia orgánica (%)	8,82
Nitrógeno (%)	0,42
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) (%)	0,42
Potasio (%)	1,74
Carbono (%)	5,12
Relación C/N	12,19

**Tabla 3.** Valores del análisis físico-químico de la mezcla (2:1) torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

<b>Características físico-químicas</b>	<b>Valor</b>
pH	5.78
Humedad (%)	60,0
Materia seca (%)	40,0
Materia orgánica (%)	59,07
Nitrógeno (%)	1,20
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) (%)	0,63
Potasio (%)	0,54
Carbono (%)	29.0
Relación C/N	24,16

En las tablas 4, 5 y 6 se observan los valores obtenidos en el análisis microbiológico de torta de cachaza, ceniza de caldera y mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

La torta de cachaza presentó  $1,0 \times 10^6$  unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas;  $1,0 \times 10^5$  UFC de bacterias heterótrofas aerobias termófilas;  $1,2 \times 10^4$  UFC de actinomicetos y  $9,1 \times 10^4$  UFC de hongos filamentosos.



La ceniza de caldera presentó  $1,9 \times 10^5$  UFC de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas;  $1,5 \times 10^5$  UFC de bacterias heterótrofas aerobias termófilas;  $1,8 \times 10^3$  UFC de actinomicetos y  $3,1 \times 10^4$  UFC de hongos filamentosos .

La mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera presentó  $1,8 \times 10^7$  UFC de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas;  $1,6 \times 10^6$  UFC de bacterias heterótrofas aerobias termófilas;  $9,8 \times 10^5$  UFC de actinomicetos y  $1,8 \times 10^5$  UFC de hongos filamentosos.

**Tabla 4.** Valores del análisis microbiológico de torta de cachaza para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

Microorganismos	Recuento (UFC/g)
Bacterias heterótrofas aerobias mesófilas	$1,0 \times 10^6$
Bacterias heterótrofas aerobias termófilas	$1,0 \times 10^5$
Actinomicetos	$1,2 \times 10^4$
Hongos filamentosos	$9,1 \times 10^4$

**Tabla 5.** Valores del análisis microbiológico de ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

Microorganismos	Recuento (UFC/g)
-----------------	---------------------

---

Bacterias heterótrofas aerobias mesófilas	$1,9 \times 10^5$
Bacterias heterótrofas aerobias termófilas	$1,5 \times 10^5$
Actinomicetos	$1,8 \times 10^3$
Hongos filamentosos	$3,1 \times 10^4$

---

**Tabla 6.** Valores del análisis microbiológico de la mezcla (2:1) torta de cachaza y ceniza de caldera para la producción de compost en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero, 2007.

---

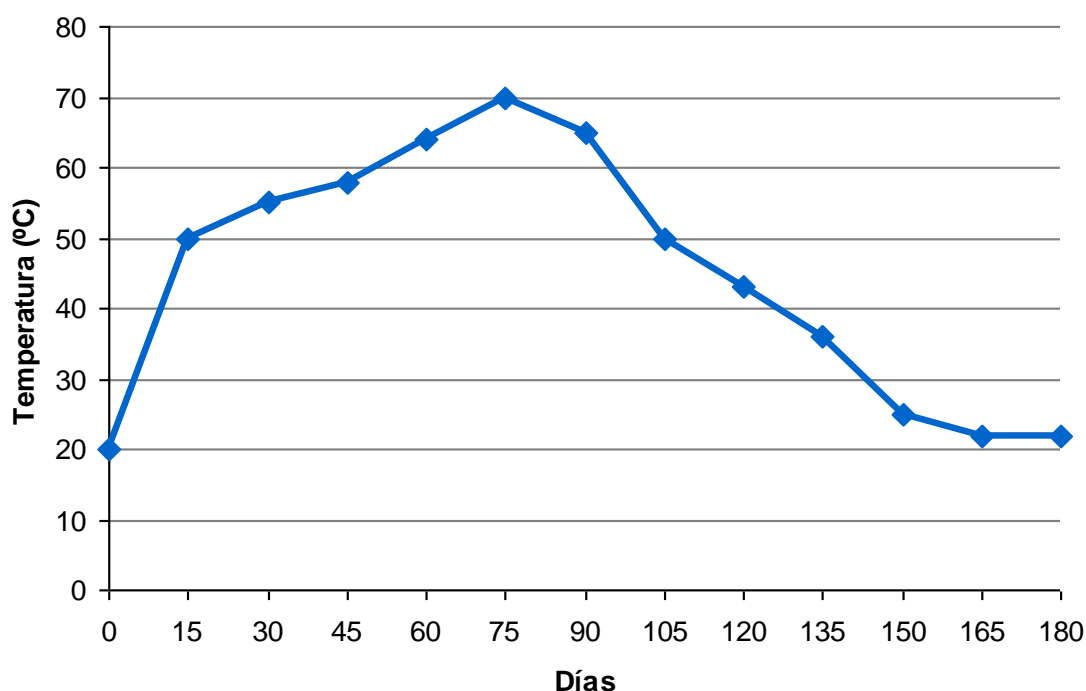
<b>Microorganismos</b>	<b>Recuento (UFC/g)</b>
Bacterias heterótrofas aerobias mesófilas	$1,8 \times 10^7$
Bacterias heterótrofas aerobias termófilas	$1,6 \times 10^6$
Actinomicetos	$9,8 \times 10^5$
Hongos filamentosos	$1,8 \times 10^5$

---

**2. Variaciones de temperatura, humedad y pH durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.**

En la figura 11 se observan las variaciones de temperatura durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.

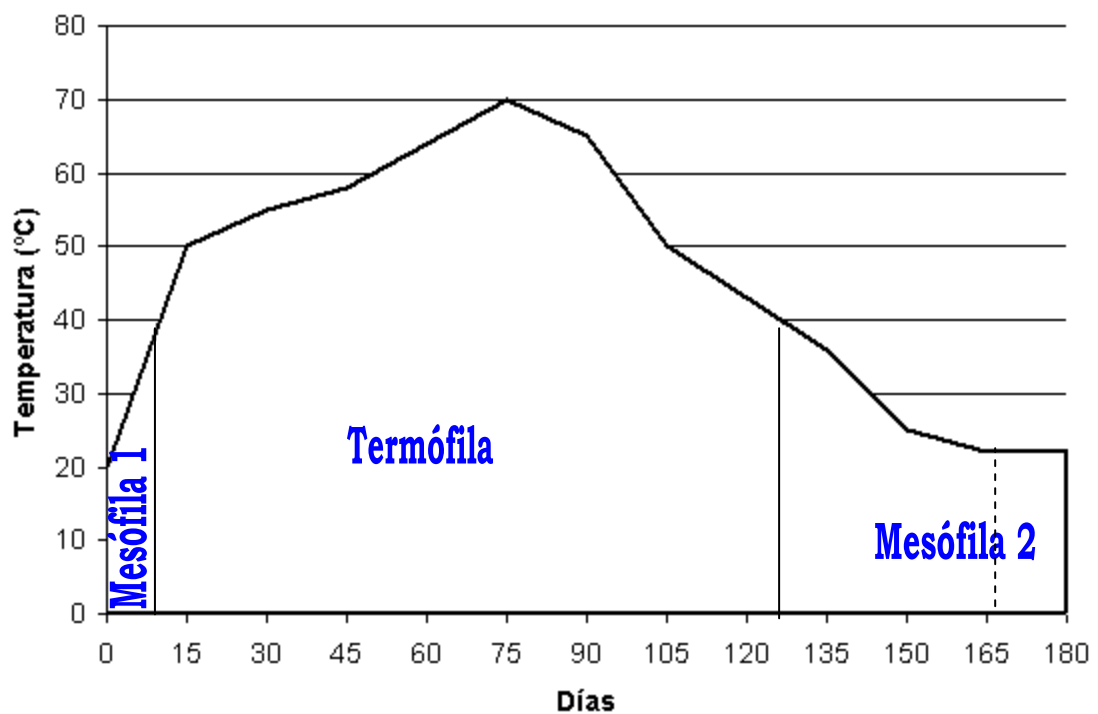
El proceso se inició con una temperatura de 20 °C y se fue incrementando hasta alcanzar un pico de 70 °C a los 75 días de iniciado el proceso para luego disminuir y establecerse en 22 °C al finalizar el proceso (180 días).



**Figura 11.** Variaciones de temperatura (°C) durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

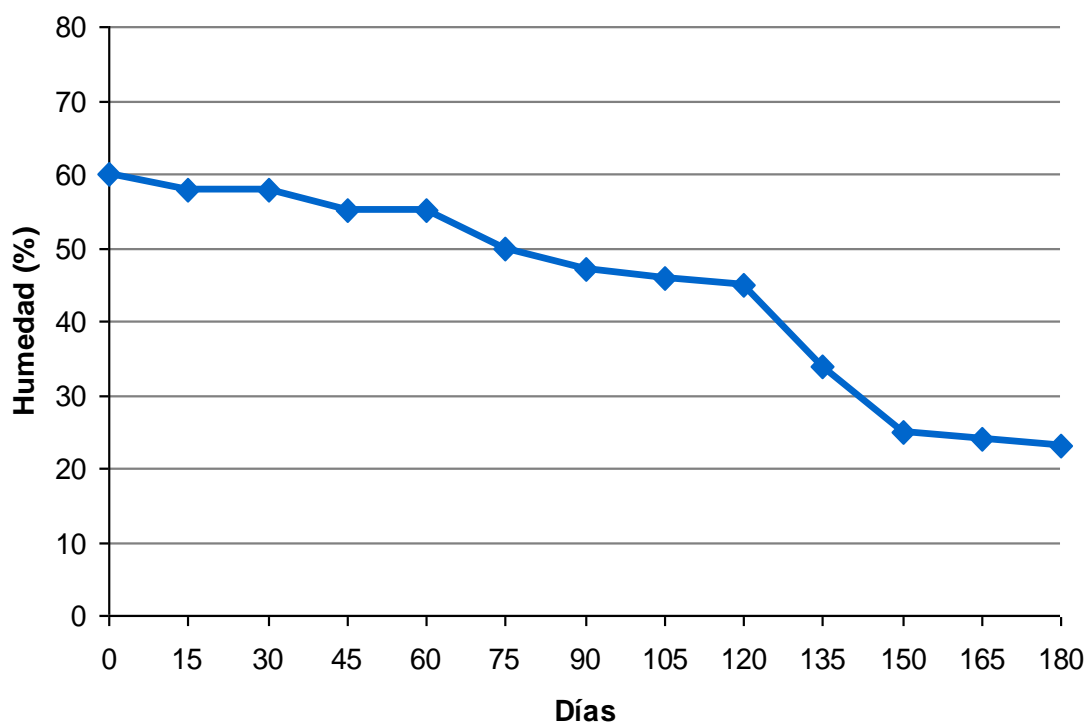
Según el rango de temperatura alcanzado en el proceso de compostaje (Figura 12) se observó una primera etapa mesófila (20 a 40 °C) durante los primeros 10 días y después una etapa termófila (40 a 70 °C) donde la temperatura se incrementó desde 40 °C hasta 70 °C durante 65 días para luego disminuir hasta 40 °C durante 50 días. En esta etapa se realizaron tres volteos de la cama de compostaje a los 30, 75 y 120 días después de la mezcla

de torta de cachaza y ceniza de caldera. A continuación, se observó una segunda etapa mesófila donde la temperatura fue disminuyendo hasta 22 °C durante 40 días y finalmente se mantuvo constante a esta temperatura durante los últimos 15 días del proceso.



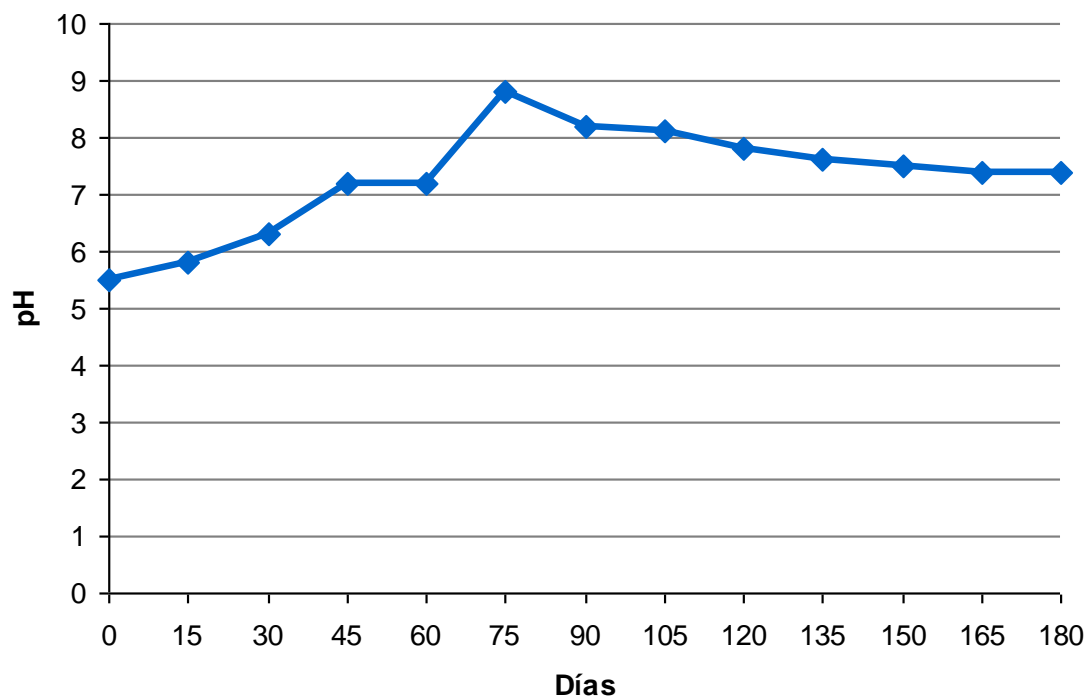
**Figura 12.** Etapas térmicas diferenciadas en el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

En la figura 13 se observan las variaciones del porcentaje de humedad durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. El proceso se inició con 60 % de humedad, fue disminuyendo paulatinamente, llegando a 45 % a los 120 días del proceso y se estabilizó en 23 % al finalizar el proceso (180 días).



**Figura 13.** Variaciones de humedad (%) durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

En la figura 14 se observan las variaciones del pH durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. El proceso se inició con un pH de 5,37; se fue incrementando hasta alcanzar un pico de 8,6 a los 75 días de iniciado el proceso y luego disminuyó paulatinamente hasta establecerse en 7,4 al final del proceso (180 días).

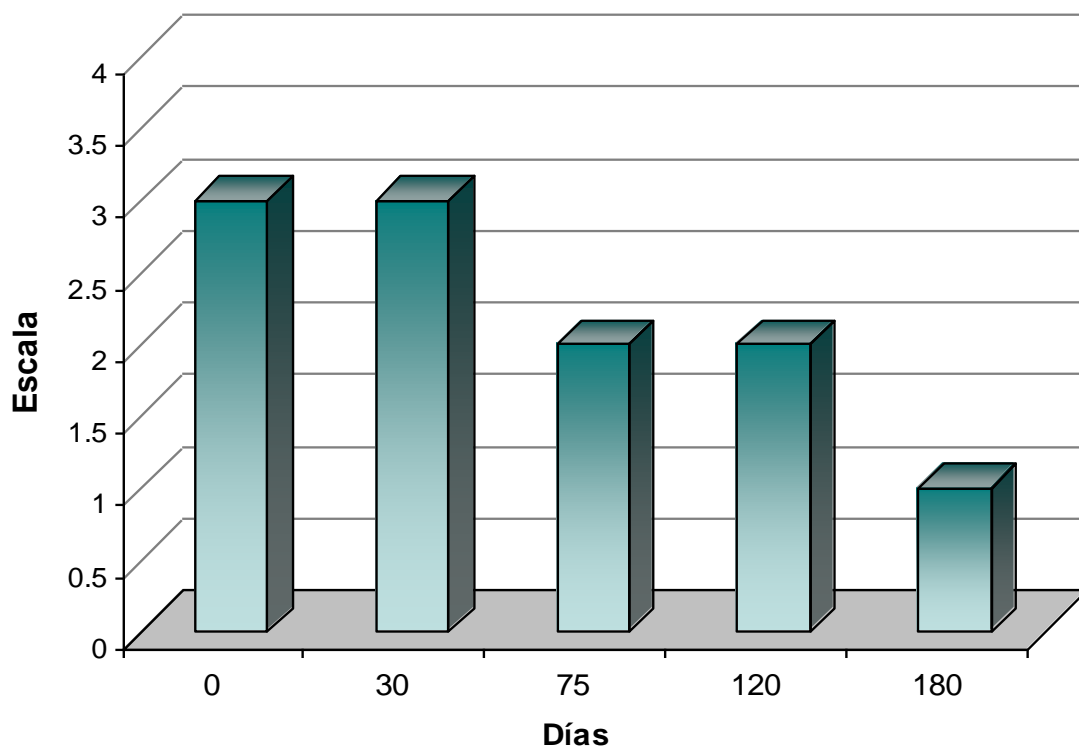


**Figura 14.** Variaciones del pH durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

**3. Variaciones de la estructura y el grado de invasión de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.**

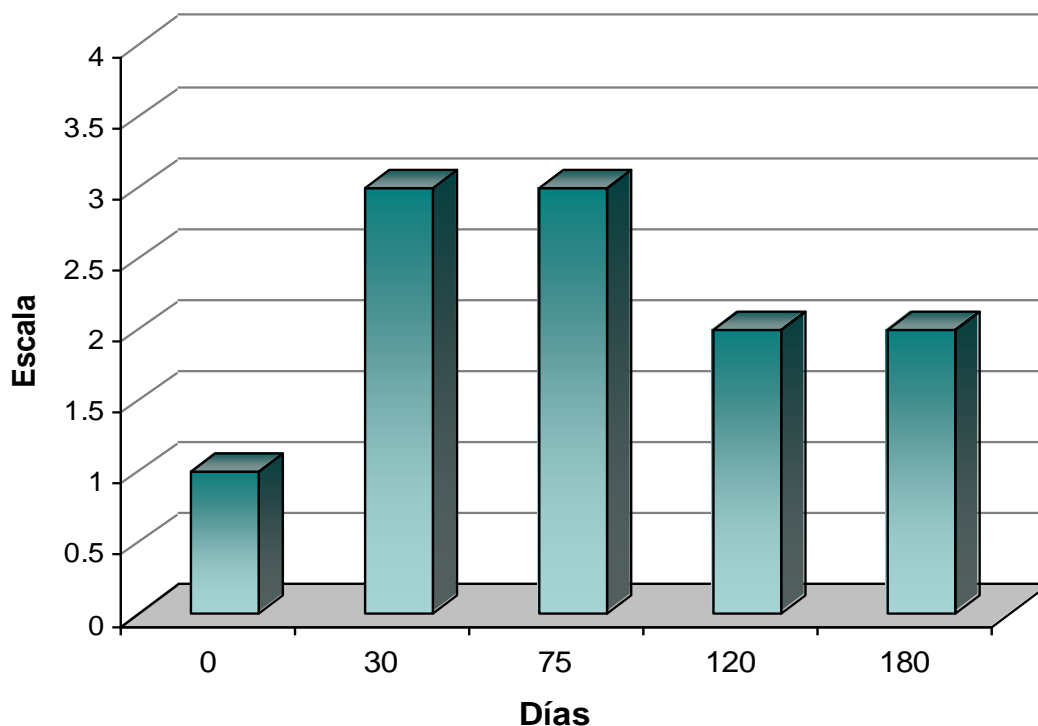
En la figura 15 se observan las variaciones de la estructura durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. De acuerdo a la escala de 1 a 4, el

proceso se inició con un material de estructura regular sin tendencia a ser pegajosa con dificultad para la mezcla, catalogado en la escala 3 y finalizó con un material de excelente estructura, suelto y fácilmente mezclado catalogado en la escala 1.



**Figura 15.** Variaciones de la estructura durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

En la figura 16 se observan las variaciones del grado de invasión de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. De acuerdo a la escala de 1 a 4 el proceso se inició con un porcentaje de 0 respecto a la invasión de actinomicetos (escala 1), alcanzó un pico de 51 a 75 % a los 30 y 75 días respectivamente (escala 3) y disminuyó hasta 26 a 50 % de invasión por actinomicetos (escala 2) al finalizar el proceso.



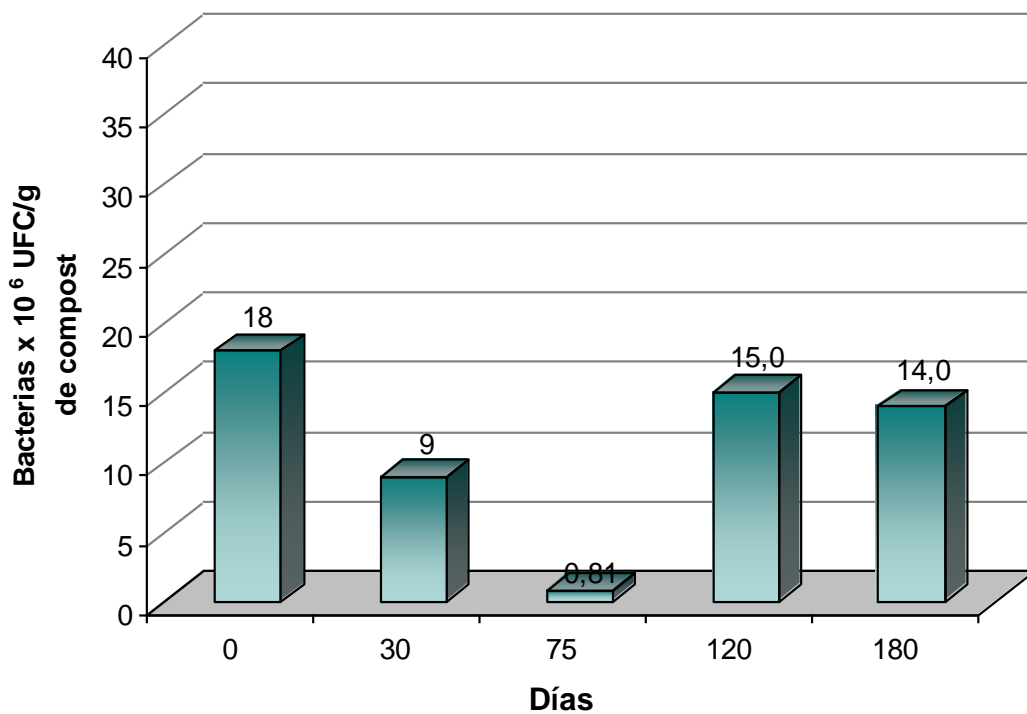
**Figura 16.** Variaciones del grado de invasión de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

**4. Variaciones de poblaciones de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, bacterias heterótrofas aerobias termófilas, actinomicetos y hongos filamentosos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.**

En la figura 17 se observan las variaciones de poblaciones de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas durante el proceso de compostaje en la Empresa Azucarera S.A.C., Ferreñafe. El proceso se inició con  $18 \times 10^6$

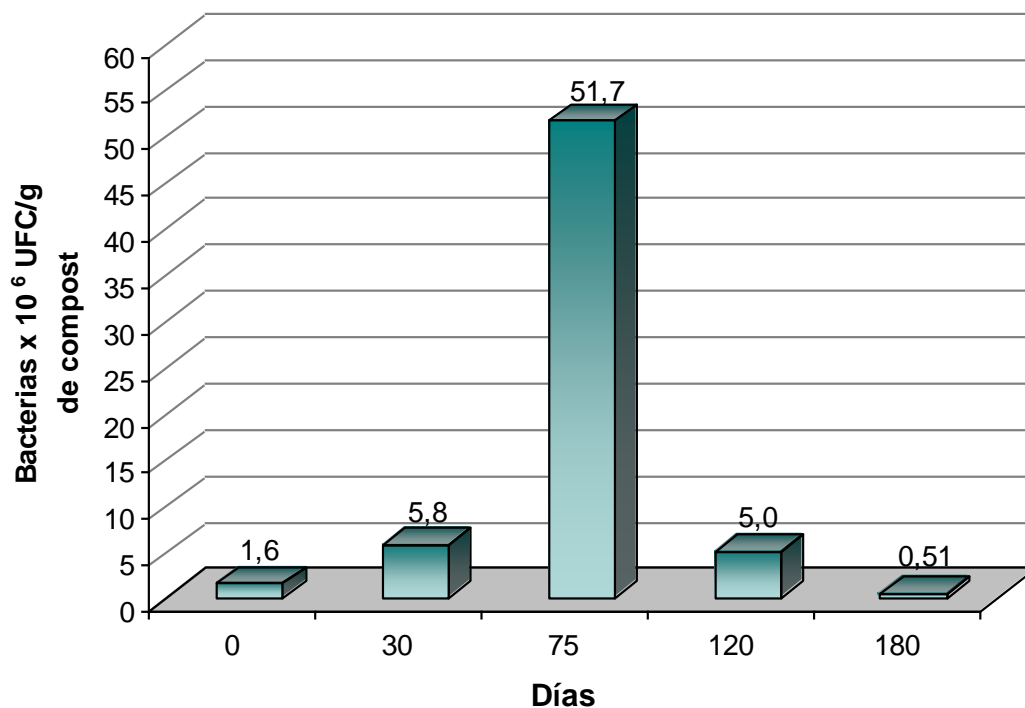


UFC/g de material de compostaje valor que fue disminuyendo hasta  $9,0 \times 10^6$  UFC/g a los 30 días, para posteriormente incrementarse alcanzando un valor de  $14 \times 10^6$  UFC/g al finalizar el proceso.



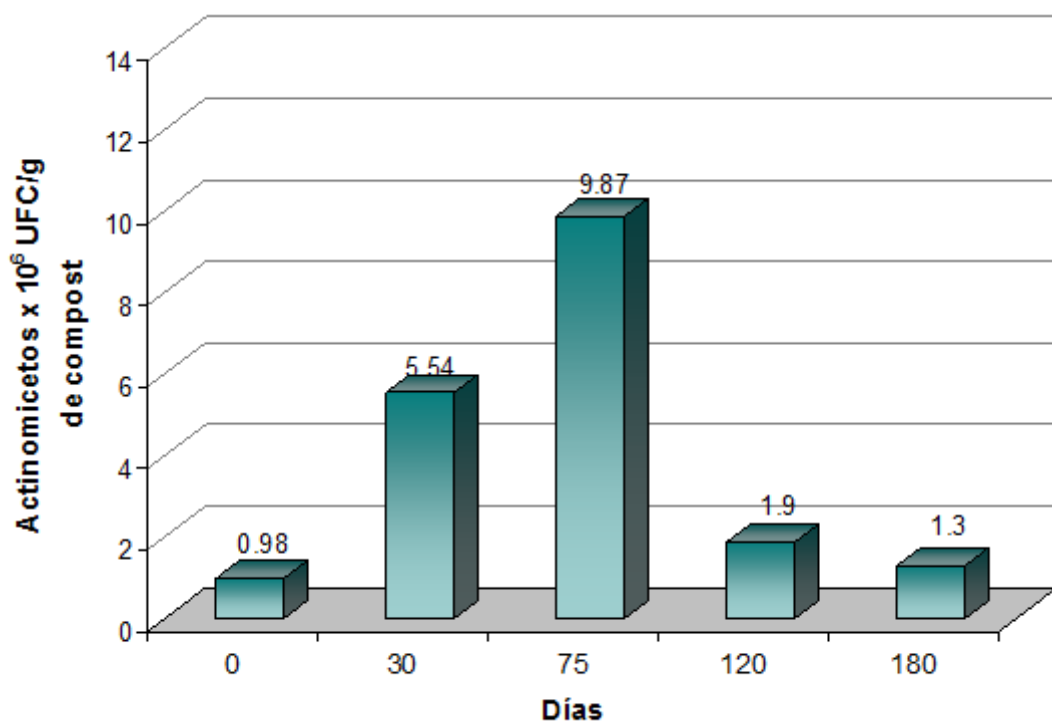
**Figura 17.** Variaciones de poblaciones (UFC/g) de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

En la figura 18 se observan las variaciones de poblaciones de bacterias heterótrofas aerobias termófilas durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. El proceso se inició con  $1,6 \times 10^6$  UFC/g de material en compostaje valor que fue aumentando hasta  $51,7 \times 10^6$  UFC/g a los 75 días y paulatinamente disminuyó hasta  $5,08 \times 10^6$  UFC/g al finalizar el proceso (180 días).



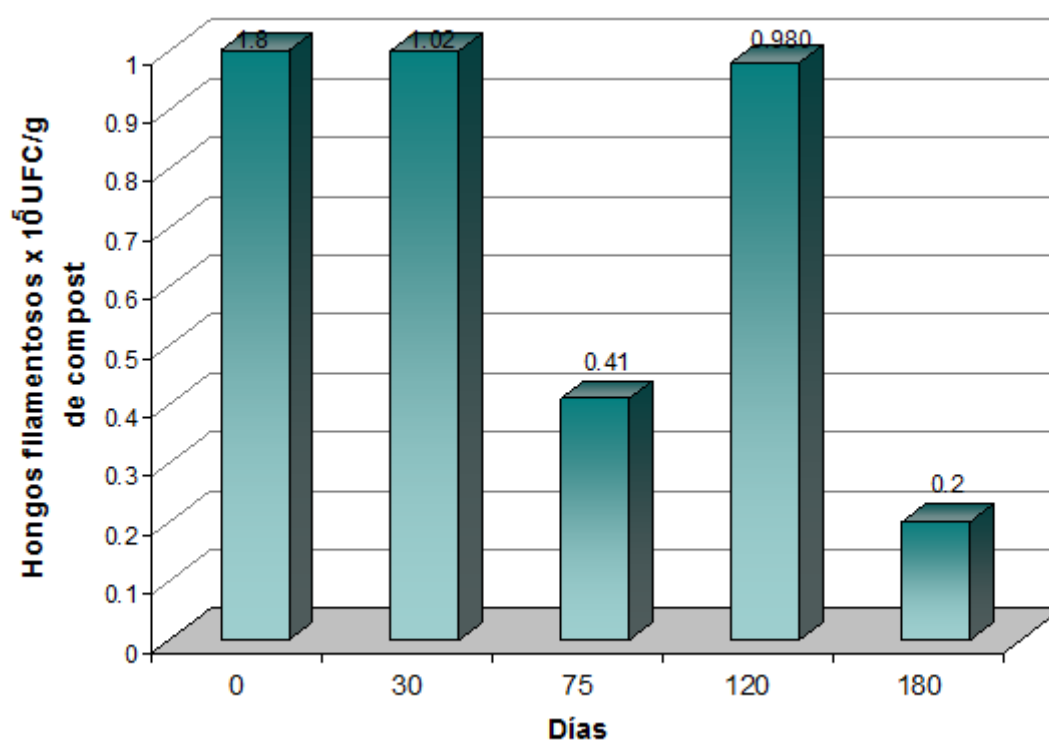
**Figura 18.** Variaciones de poblaciones (UFC/g) de bacterias heterótrofas aerobias termófilas durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

En la figura 19 se observa las variaciones de poblaciones de actinomicetos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. 2007. El proceso se inició con  $0,98 \times 10^6$  UFC/g de material en compostaje valor fue aumentando hasta  $9,87 \times 10^6$  UFC/g de material después de 75 días de iniciado el proceso y paulatinamente fue disminuyendo hasta alcanzar un valor de  $1,3 \times 10^6$  UFC/g al finalizar el proceso (180 días).



**Figura 19.** Variaciones de poblaciones (UFC/g) de actinomicetos en el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

En la figura 20 se observan las variaciones de poblaciones de hongos filamentosos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. El proceso se inició con  $1,8 \times 10^5$  UFC/g de material en compostaje valor que fue aumentando hasta  $0,980 \times 10^5$  UFC/g de material después de 120 días de iniciado el proceso y disminuyó hasta  $0,2 \times 10^5$  UFC/g (180 días)



**Figura 20.** Variaciones de poblaciones (UFC/g) de hongos filamentosos durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, febrero - agosto, 2007.

## 5.0 Características físico-químico y microbiológicas de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, agosto, 2007.

En la tabla 7 se observan los valores obtenidos en el análisis físico-químico del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe; determinándose un tamaño de partículas de 2 a 3 mm; una textura suelta; color marrón oscuro; pH de 7,40; conductividad eléctrica de 1,80 Mmhos/cm; 28 % de humedad; 72 % de materia seca; 37,3 % de materia orgánica; 1,05 % de nitrógeno; 0,78 % de fósforo; 0,98 % de potasio; 13,23 % de carbono y una relación C/N de 12,6.

**Tabla 7.** Valores del análisis físico-químico de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, agosto, 2007.

Características físico-químicos	Unidad	Valor
Tamaño de partículas	Mm	2 – 3
Textura	-----	Suelta
Color	-----	Marrón oscuro
pH	-----	7,40
Conductividad eléctrica (Cec)	Mmhos/ cm	1,80
Humedad	%	28,00
Materia seca	%	72,00
Materia orgánica	%	37,3
Nitrógeno	%	1,05
Fósforo	%	0,78
Potasio	%	0,98
Carbono	%	13,23
Relación C/N		12,6

En la tabla 8 se observan los valores obtenidos en el análisis microbiológico; determinándose  $1,4 \times 10^7$  unidades formadores de colonias (UFC) de bacterias aerobias mesófilas / g;  $5,08 \times 10^5$  UFC de bacterias heterótrofas aerobias termófilas / g;  $1,3 \times 10^6$  UFC de actinomicetos / g y  $2,00 \times 10^4$  UFC de hongos filamentosos / g de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe.

**Tabla 8.** Valores del análisis microbiológico de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, agosto, 2007.

Microorganismos	Recuento (UFC/g)
Bacterias heterótrofas aerobias mesófilas	$1,4 \times 10^7$
Bacterias heterótrofas aerobias termófilas	$5,08 \times 10^5$
Actinomicetos	$1,3 \times 10^6$
Hongos filamentosos	$2,00 \times 10^4$

**6. Evaluación de germinación y emergencia de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro” por efecto de la aplicación del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., Ferreñafe. Lambayeque, setiembre, 2007.**

En la tabla 9 se observa el porcentaje de germinación y emergencia de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro” por efecto de dos grupos de estudio control y experimental aplicado con compost de torta de cachaza y ceniza de caldera. Para *Raphanus sativus* (rabanito) el porcentaje de emergencia en el grupo control fue de 61,5 %, mientras que en el grupo experimental fue de 94,5 % determinándose un 33,00 % de incremento en el porcentaje de emergencia con respecto al control. Para *Coriandrum sativum* (culantro) el porcentaje de emergencia en el grupo control fue de 79,0 %, mientras que en el grupo experimental fue de 98,5 % determinándose un 19,50 % de incremento en el porcentaje de emergencia con respecto al control.

**Tabla 9.** Comparación de germinación y emergencia de 200 semillas por efecto de dos grupos de estudio control y experimental (compost de torta de torta de cachaza y ceniza de caldera). Setiembre, 2007.

Especie vegetal	Control		Experimental		Incremento de Emergencia (%)
	Nº de plántulas emergidas	Emergencia (%)	Nº de plántulas emergidas	Emergencia (%)	
<i>Raphanus sativus</i>	123	61,5	189	94,5	33,00
<i>Coriandrum sativum</i>	158	79,0	197	98,5	19,50

## V. DISCUSION

La torta de cachaza, principal residuo de la industria de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) está constituida por un material esponjoso, amorfo, color oscuro a negro que absorbe grandes cantidades de agua. Se elimina durante el proceso de clarificación del jugo de caña y su composición varía con las características agroecológicas de la zona, con el cultivar

cosechado, eficiencia de la fábrica y material de clarificación empleado entre otros factores (Chen, 1997).

En la Empresa Azucarera del norte S.A.C., Ferreñafe se determinó que la torta de cachaza presentó una humedad de 78 % y una relación de carbono / nitrógeno de 24,0. Los resultados coinciden con lo manifestado por Avendaño, 2003 respecto a valores altos en el contenido de humedad (75 a 80 %) y la relación de carbono / nitrógeno en la torta de cachaza. A pesar de que este residuo es rico en materia orgánica, nitrógeno, calcio y fósforo, su uso como mejorador de las propiedades físicas del suelo es limitado debido al elevado contenido de humedad que presenta en estado fresco y que encarece los costos de transporte, además de su alta relación carbono / nitrógeno que ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos, por inmovilización del nitrógeno, cuando es incorporado en el momento de la siembra (Avendaño, 2003).

En cuanto al contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y carbono los valores fueron de 68,91 %; 1,80 %; 0,97 %; 0,38 % y 43,2 % respectivamente. Medina, 1999 manifestó que la cachaza es generalmente rica en materia orgánica, nitrógeno y fósforo pero es pobre en potasio. El contenido elevado en nitrógeno se debe a la materia orgánica que aunada a una excesiva humedad generan olores desagradables y contaminación ambiental cuando la cachaza no es tratada adecuadamente. El contenido elevado de fósforo se debe a que el jugo de caña es tratado con fosfato para acelerar el proceso de clarificación. El bajo contenido de potasio es explicado por la gran solubilidad de este elemento lo que propicia su salida hacia el jugo que es separado con la melaza.

En cuanto al pH la torta de cachaza presentó un valor de 7,2 considerado como ligeramente alcalino y atribuido al elevado contenido de carbonato de calcio, compuesto utilizado durante el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar (Chen, 1997).

La ceniza de caldera es el residuo formado durante la quema del bagazo en las calderas para generación de vapor. En la Empresa Azucarera



del Norte S.A.C., Ferreñafe se determinó que la ceniza de caldera presentó un pH alcalino (8,70), valores bajos en el contenido de humedad (0,70 %), materia orgánica (8,82 %), nitrógeno (0,42 %), fósforo (0,42 %), carbono (5,12 %) y un valor alto en el contenido de potasio (1,74 %). Los resultados coinciden con lo manifestado por Chen (1997) respecto a que la ceniza de caldera presenta bajos niveles de humedad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo pero es de utilidad por su elevado contenido de potasio (hasta 2,6 %), como fuente de microelementos y como corrector de acidez en el proceso de compostaje.

La mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera presentó las condiciones físico-químicas adecuadas para el proceso de compostaje, coincidiendo con lo manifestado por Pravia y Szterm (1999) respecto a las consideraciones que se deben tomar en cuenta en la elaboración del compostaje. En cuanto al pH, al inicio del proceso el valor es de 5,0 - 6,0; en pleno proceso es de 8,0 - 9,0 y finalmente al madurar el producto es de 7,0. Respecto a la humedad, cuando el valor inicial de los residuos crudos es superior a 60 % se debe buscar la forma de que el material pierda humedad antes de iniciar el proceso. La humedad idónea se sitúa en un rango de 40 a 60 %. Valores fuera de este rango no son recomendables puesto que disminuyen la actividad biológica afectando negativamente el proceso de compostaje. En cuanto a la relación carbono / nitrógeno un valor de 20 a 30 con un promedio de 25 unidades de carbono por unidad de nitrógeno es considerado adecuado para iniciar el proceso. Valores superiores a 30 incrementarán el tiempo necesario para la biodegradación y valores inferiores a 20 producirán pérdidas de nitrógeno por lixiviación y volatilización.

En cuanto al análisis microbiológico, el número de microorganismos fue superior en la torta de cachaza con respecto al de la ceniza y el valor de ambos fue inferior al de la mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera. La superioridad en el número de microorganismos de la mezcla torta de cachaza y ceniza de caldera es explicada por la presencia de materia orgánica que es utilizada como fuente de carbono y energía por los microorganismos quimioheterótrofos, además de una humedad de 60 % que favorece el crecimiento microbiano. En contraste, la humedad de 78 % y 0,70 % de la torta

de cachaza y ceniza de caldera respectivamente desfavorecen la aireación y actividad de agua en niveles requeridos por los microorganismos (Madigan *et al.*, 1999).

Durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera, la temperatura alcanzada en el núcleo de la pila osciló entre 20 °C y 70 °C, distinguiéndose una primera fase mesofílica, donde la temperatura se incrementó hasta 40 °C, luego siguió una fase termofílica en la cual la temperatura se incrementó drásticamente hasta 70 °C para posteriormente disminuir gradualmente hasta 22 °C en la que constituiría la segunda fase mesofílica. Los resultados coinciden con lo manifestado por Castillo *et al.*, (2000) quienes determinaron que la variación de la temperatura en el proceso de compostaje de residuos de cocina y estiércol de vacuno durante 90 días, sigue el típico patrón con tres etapas diferenciadas; una mesofílica inicial durante la cual el calor generado provoca un rápido ascenso de la temperatura de 28 a 40 °C; una fase termofílica en la cual la temperatura se incrementa hasta 70 °C y finalmente una segunda etapa mesofílica donde la temperatura disminuye gradualmente.

En la segunda etapa mesofílica la temperatura fue disminuyendo desde 40 °C hasta 22 °C en un tiempo de 40 días y finalmente se estabilizó en 22 °C durante 15 días. Coincidiendo con lo expuesto por Avendaño (2003), en esta etapa se pudo diferenciar una fase de enfriamiento y una fase de maduración o estabilización a temperatura ambiente.

Durante la etapa termogénica en la elaboración de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera se visualizó la emanación de vapor de agua, coincidiendo con lo manifestado por Pravia y Szterm (1999), respecto a que cuando la compactación y ventilación son adecuados en el proceso de compostaje se producen visibles emanaciones de vapor de agua. Si bien es cierto, la etapa termofílica debe ser prolongada hasta el agotamiento de la mayoría de nutrientes, debido a que permite la higienización del material, destruyendo los patógenos y semillas de malezas, la temperatura debe situarse entre 60 y 65 °C, por cuanto temperaturas mayores resultan nocivas para el desarrollo de microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica (Coyne, 1999). Por esta razón, cuando en el proceso de compostaje

de torta de cachaza y ceniza de caldera, la temperatura se elevó a 70 °C, se realizó el volteo y el riego correspondiente.

Durante todo el proceso se realizaron tres volteos y varios riegos ligeros para controlar la temperatura, según lo expuesto por Coyne (1999) y Sánchez (1999) respecto a que la aireación, el riego y la mezcla del material de la pila de compostaje evitan un recalentamiento excesivo. Los volteos también permitieron la aireación adecuada y la remoción del material para una degradación uniforme del mismo. Coincidiendo al respecto Pravia y Szterm (1999) manifestaron que es necesario remover las pilas del material en compostaje de forma tal que los residuos orgánicos que se encuentran en la corteza pasen a formar parte del núcleo y viceversa, a la vez que las remociones y reconfiguraciones de las pilas permiten airear el material en momentos puntuales del proceso. En una pila de compostaje es deseable que se produzcan metabolismos respiratorios aerobios tratando de minimizar los procesos fermentativos y respiratorios anaerobios debido a que los productos finales de estos tipos de metabolismo no son adecuados para su aplicación y condicionan a la pérdida de nutrientes (Coyne, 1999 y Morales *et al.*, 2000).

Durante el compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera la humedad inicial de 60 % disminuyó paulatinamente hasta 45 % en los 120 días del proceso correspondientes a la fase mesófila, termófila. Posteriormente durante la fase de enfriamiento y maduración la humedad osciló entre 34 a 22 %. Los resultados coinciden con lo manifestado por Pravia y Szterm (1999) respecto a que en una biodegradación con predominio de la respiración aerobia la humedad debe ser de 40 a 60 %. Valores de humedad superiores a los indicados producirán un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica por lo que el medio se tornaría anaerobio originando fermentaciones y respiraciones anaerobias. Asimismo, Coyne (2000), manifestó que la humedad de 50 a 60 % resulta adecuada para la elaboración de compost el cual debe estar húmedo pero no empapado. El agua ayuda a enfriar el compost. El crecimiento y la actividad microbiana deben tener un nivel de humedad suficiente como para mantener capas de agua sobre las

superficies sólidas y así facilitar el movimiento, metabolismo microbiano y la difusión de compuestos solubles.

Respecto a las variaciones del pH, el proceso se inició con un valor ácido (5,37), incrementándose hasta 8,6 a los 75 días para finalmente establecerse en 7,4. Polanco y Sánchez (2004) concluyeron que entre los factores físico-químicos el más determinante en el proceso de compostaje es el pH debido a que condiciona la actividad de la microbiota. Coincidiendo con Pravia y Szterm (1999), al inicio del proceso el pH fue ligeramente ácido, característico de los materiales vegetales (pH 6,0) y producto de la formación de ácidos orgánicos en el metabolismo microbiano (reposo de la torta de cachaza durante 4 días). Posteriormente conforme se incrementó la temperatura el pH se tornó alcalino alcanzando un pico de 8,6; valor que coincide con el máximo de la actividad termófila donde se lleva a cabo la amonificación. Finalmente el pH disminuyó y se estabilizó en 7,2 - 7,5 debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (Miranda, 2001).

Respecto a las variaciones de la estructura durante el proceso de compostaje, al inicio el material presentó dificultad para la mezcla, sin embargo, al final del proceso terminó con una excelente estructura, suelto y fácilmente mezclado. Al ingresar al proceso de compostaje los desechos orgánicos presentan una estructura física la cual se va perdiendo poco a poco como consecuencia de la degradación microbiana resultando al final en una masa homogénea, de color negro y sin olor en donde no se distinguen los componentes (Pravia y Szterm, 1999).

La estimación visual del desarrollo de actinomicetos se realizó como una medida indirecta para conocer la calidad del compost determinándose que el porcentaje de invasión se incrementó conforme aumentó la temperatura alcanzando el máximo en el pico de la etapa termófila. Los resultados coinciden con Difiore y Albarracín (1998) quienes concluyeron que la adición de residuos de la industria azucarera en el proceso de compostaje permiten una buena estructura de la materia donde no se dificulta la mezcla y por lo tanto se puede realizar una buena homogenización y aireación que favorece el desarrollo de

los microorganismos aerobios como los actinomicetos, responsables del color grisáceo característico de la masa en compostaje.

Las poblaciones de los microorganismos fluctuaron de acuerdo al rango de temperatura prevalente en el proceso de compostaje. Las bacterias heterótrofas aerobias mesófilas y hongos filamentosos disminuyeron conforme se incrementó la temperatura hasta alcanzar el pico de 70 °C. Posteriormente con el descenso de la temperatura las poblaciones se incrementaron hasta alcanzar valores muy cercanos a los originales. Por el contrario, las bacterias aerobias termófilas y actinomicetos se incrementaron conforme aumentó la temperatura hasta alcanzar el pico a los 70 °C y después con el descenso de la temperatura las poblaciones disminuyeron hasta un valor inferior al original en el caso de las bacterias aerobias termófilas y un valor superior al original en el caso de los actinomicetos. Los resultados son explicados con las afirmaciones de Pravia y Szterm (1999) quienes determinaron que el material orgánico que va a ser compostado contiene un grupo mixto de actinomicetos, bacterias y hongos filamentosos que pueden ser divididos de acuerdo con sus requerimientos de temperatura en mesófilos y termófilos. Los microorganismos mesófilos (hongos, actinomicetos y bacterias) son activos entre 38 - 72 °C (Atlas y Bartha, 2002).

Por su parte, Avendaño (2003) determinó que las bacterias mesófilas productoras de ácidos actúan sobre los compuestos solubles y de fácil degradación como los carbohidratos y proteínas. Su actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura y favorece el desarrollo de la microbiota termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. Las bacterias termófilas dominan en la pila de compostaje entre 63 y 55 °C y son responsables de la amonificación que ocurre a estas temperaturas. Destacan las bacterias del género *Pseudomonas*, bacterias esporuladas y actinomicetos.

Entre las bacterias esporuladas están *Bacillus stearothermophilus* y *Clostridium thermocellum* además de *Bacillus brevis*, *Bacillus circulans*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus sphaericus* y *Bacillus subtilis*, responsables de la degradación de lípidos, hemicelulosa y de la

amonificación. Las poblaciones de estos microorganismos descienden en simultáneo con el descenso de la temperatura reapareciendo y predominando nuevamente las bacterias mesófilas.

Respecto a los actinomicetos, los géneros *Thermomonospora*, *Thermoactinomyces* y *Streptomyces* incrementan sus poblaciones en la etapa termófila y participan en el proceso de amonificación y degradación de hemicelulosa y celulosa. Las especies de los géneros mesófilos como *Microbispora*, *Micropolyspora*, *Nocardia* y *Streptomyces* desempeñan un rol muy importante en la segunda etapa mesófila durante el enfriamiento y maduración donde sólo quedan los materiales más resistentes como la lignina y suberina. Los actinomicetos son responsables del olor característico a tierra que emana de las pilas de compostaje, como consecuencia de la producción de una serie de metabolitos denominado geosminas y son claramente visibles como puntos blanquizcos en la pila de compostaje (Avendaño, 2003).

En lo que se refiere a hongos filamentosos, estos degradan el material más resistente y poseen un rol limitado con el compostaje excepto en la etapa de maduración cuando las temperaturas son moderadas y los sustratos son predominantemente la celulosa y lignina, destacando los géneros *Geotrichum*, *Aspergillus* y *Mucor*. En su mayoría son excluidos de las fases de alta temperatura habiéndose determinado que solo algunos desarrollan entre 48 a 50 °C destacando los géneros *Humicola* y *Monilia* como eficientes deamonificadores (Guerrero, 1993).

En cuanto a las características físicas y químicas del compost de torta de cachaza y ceniza de caldera, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por el Consejo Nacional del Ambiente, CONAM (2006) con valores de pH comprendidos entre 5 a 8, menos de 2 Mmhos (conductividad eléctrica), más de 30 % de materia orgánica, más de 0,6 % de nitrógeno, más de 0,5 % de fósforo, más de 0,3 % de potasio y una relación carbono / nitrógeno (C/N) menor de 25.

Respecto a la humedad el compost de torta de cachaza y ceniza de caldera obtenido presentó un valor de 28 %, muy inferior al determinado por el

Consejo Nacional del Ambiente, CONAM (2006) con un valor que oscila entre 50 a 60 %. Sin embargo Pravia y Szterm (1999) mencionan que el compost debe presentar una humedad entre 15 - 35 %. Valores mayores son desfavorables por cuanto condicionan una reducción del contenido de materia orgánica y número de microorganismos; características requeridas para un compost de buena calidad.

En cuanto al porcentaje de germinación y emergencia de semillas de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro”, los valores obtenidos estuvieron incrementados con respecto al control: 33,00 % y 19,50 % de incremento para rabanito y culantro respectivamente. Los resultados son explicados en las aseveraciones de Guerrero (1993) determinó que el compost mejora la estructura del suelo, retiene la humedad, incrementa la reserva y aporta nutrientes indispensables para las plantas liberando progresivamente nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro y fierro. Asimismo; Manrique, (2004) concluyeron que para conservar la fertilidad del suelo es esencial la aplicación de compost que garantiza la presencia de microorganismos benéficos que facilitan la fijación de nutrientes y su absorción por las plantas. Como consecuencia mejora la germinación, el desarrollo vegetativo y el rendimiento de los cultivos.

## VI. CONCLUSION

1. A partir de torta de cachaza y ceniza de caldera de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C., se obtuvo compost después de un proceso de 180 días.
2. El compost de torta de cachaza y ceniza de caldera presentó un pH de 7,4; una conductividad eléctrica de 1,80 (Mmhos/cm); 28 % de humedad; 72 % de materia seca; 37,3 % de materia orgánica; 1,05 % de nitrógeno; 0,78 % de fósforo; 0,98 % de potasio; 13,23 % de carbono y una relación C/N de 12,6.
3. El compost de torta de cachaza y ceniza de caldera presentó  $1,4 \times 10^7$  UFC/g de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas;  $5,08 \times 10^6$  UFC/g de bacterias aerobias termófilas;  $1,3 \times 10^6$  UFC/g de actinomicetos y  $2,00 \times 10^4$  de hongos filamentosos.
4. El porcentaje de germinación y emergencia fue incrementado en 33,00 % para *Raphanus sativus* y 19,50 % para *Coriandrum sativum* por efecto de la aplicación de compost de torta de cachaza y ceniza de caldera.



## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Elaborar compost de torta de cachaza y ceniza de caldera adicionando microorganismos degradadores, aislados, seleccionados e incrementados en Laboratorio.
2. Realizar la evaluación de germinación, emergencia y rendimiento de cultivos hortícolas por efecto de la aplicación de Compost de torta de cachaza y ceniza de caldera.

## VIII. RESUMEN

La producción de compost se realizó con la mezcla de torta de cachaza y ceniza de caldera a través de un proceso de compostaje; cuyos productos utilizados son considerados como residuos azucareros. La torta de cachaza es un recurso secundario de la clarificación del jugo de caña en la Industria Azucarera, es un material de color marrón oscuro y está constituida por una mezcla de fibra de caña mientras que la ceniza de caldera, es un residuo generado por la utilización del bagazo el cual brinda potasio y minerales. En este proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera incluyendo el compost terminado se tomaron muestras para ser analizadas y determinar las características físicas, químicas y microbiológicas.

Durante el proceso de compostaje de torta de cachaza y ceniza de caldera se observaron tres etapas diferenciadas que son: Mesófila 1, Termófila y Mesófila 2, por la presencia de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, termófilas, invasión de actinomicetos y hongos filamentosos.

El compost de torta de cachaza y ceniza de caldera se define como producto de la degradación aeróbica, es un material inodoro, estable y parecido al humus que no ocasiona daños al ambiente natural y social. Se distingue como descomposición aeróbica porque hay presencia de oxígeno, dando lugar a la liberación de bióxido de carbono, vapor de agua y temperatura.

El compost de torta de cachaza y ceniza de caldera es buen mejorador del suelo el cual se utilizó, evaluando el efecto de germinación y emergencia de semillas de *Raphanus sativus* “rabanito” y *Coriandrum sativum* “culantro”.

## **IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Armas, C. (2001). Tecnología ambiental. Trujillo, Apligraf S.R.L.
- Atlas, R y Bartha, R. (2002). Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Madrid, Pearson Educacion S.A.
- Avendaño, D. (2003). El proceso de compostaje. Tesis Ing. Agrónomo. Chile, Facultad de Agronomía. Pontifica Universidad Católica de Chile.
- Castillo, E., Quarín, S. y Iglesias, M. (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados.
- Chen, J. (1997). Manual de azúcar de caña. México, Limusa.
- Consejo Nacional del Ambiente, CONAM (2006). Guía técnica para la formulación e implementación de planes de minimización y reaprovechamiento de residuos sólidos en el nivel municipal. Lima.
- Coyne, M. (1999). Microbiología del suelo: Un enfoque explorativo. España, Paramonga.
- Difiore, P. y Albarracín, M. (1998). "Compost y tiene de cobertura para el cultivo del champiñón {Agaricus brunnescens Peck (A. bisporus)}" en Revista Facultad de Agronomía, numero 15, pp. 230-241.
- Guerrero, J. (1993). Abonos orgánicos: Tecnología para el manejo económico del suelo. Lima.

- Klein, J. (1994). Fosfocompost, alternativo para los suelos pobres. Red de acción en alternativas al uso de Agroquímicos.
- Madigan, M., Martinko, J. y Parker. (2001). Biología de los microorganismos. Madrid, Pearson Educacion S.A.
- Manrique, W. (2004). Evolución del impacto ambiental en proyectos agroindustriales. México, Astrea.
- Medina, N. (1999). Estudio comparativo de los efectos de las aplicaciones de  $\text{CaCO}_3$  y cachaza sobre el mejoramiento de un suelo ferrolítico amarillento y los sedimentos de la caña de azúcar. Cultivos tropicales. La Habana-Cuba, Instituto de Ciencias Agrícolas.
- Miranda, G. (2001). Evaluación del proceso de compostaje a partir de residuos de la industria azucarera. Tesis Ing. Agrónomo. Maracay, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
- Morales, Y., Rodríguez, C. y Alvarez, A. (2000). Elaboración de compost a partir de desechos vegetales y la adición de diferentes sustratos.
- Polanco, G. y Sánchez, T. (2004). Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos sólidos. Tesis Ing. Agrónomo. Venezuela, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
- Pravia, M. y Szterm, C. (1999). Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos.
- Reupo, J. y Vásquez, A. (2001). Manual de prácticas: Bromatología analítica. Lambayeque-Perú, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Ríos, O., Salas, S. y Sánchez, M. (1993). Manual de lombricultura en trópico

húmedo. Lima-Perú, Industrial gráfico S.A.

Sánchez, W. (2000). Efectos de las proporciones de la materia orgánica vegetal y animal y de la aireación en la maduración y concentración de nutrientes del compost. Tesis de Maestría. Perú, Universidad Nacional de Trujillo.

Seoanez, M. (2000). Residuos: Problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción. Madrid, Mundi-Prensa.

# ANEXOS

## ANEXO 1

### MEDIOS DE CULTIVO

#### Agar Jensen

Composición: g/L

- Sacarosa 2,0
- Caseína hidrolizada 0,25
- Sulfato de magnesio 0,2
- Cloruro férrico 0,1
- Agar 1,0
- Disolver en un 1 L de agua destilada
- pH 7,0

#### Agar Sabouraud glucosado

Composición: g/L

- Peptona 10,0
- Glucosa o maltosa 40,0
- Agar 15,0
- Disolver en un 1 L de agua destilada
- pH 5,6

#### Agar Plate Count

Composición: g/L

- Peptona 22,5
- Extracto de levadura 2,5
- Glucosa 1,0
- Agar 14,0
- Disolver en un 1 L de agua destilada
- pH 7,0

## **ANEXO 2**

### **Determinación de la humedad por el método gravimétrico de la estufa**

(en Reupo y Vásquez, 2001)

1. En una cápsula de porcelana previamente pesada colocar 10 g de la muestra y determinar el peso inicial.
2. Llevar la cápsula con la muestra a una estufa a 105 °C durante 3 horas como mínimo.
3. Transcurrido el tiempo sacar la cápsula y dejar enfriar en el desecador durante 20 minutos.
4. Realizar los cálculos comparativos:

$$\% \text{ Humedad} = (PI - PF/m) \times 100$$

PI = Peso inicial

PF= Peso final

m = Muestra



## **ANEXO 3**

### **Determinación de estructura y grado de invasión de actinomicetos**

(en Difiore y Albarracín, 1998)

Para determinar la estructura del material en compostaje, utilizar una escala del **1** al **4**, donde:

- 1.** Excelente estructura, material suelto, fácilmente mezclado.
- 2.** Buena estructura, material con tendencia a ser pegajoso, sin dificultad para la mezcla.
- 3.** Regular estructura, sin tendencia a ser pegajoso, con dificultad para la mezcla.
- 4.** Mala estructura, gran dificultad para la mezcla.

Para determinar el desarrollo de los actinomicetos utilizar una escala del **1** al **4**, donde:

- 1:** 0-25 % de invasión
- 2:** 26-50 % de invasión
- 3:** 51-75 % de invasión
- 4:** 76-100 % de invasión

## **ANEXO 4**

### **Cuantificación de bacterias heterótrofas aerobias mesófilas, bacterias heterótrofas aerobias termófilas, actinomicetos y hongos filamentosos**

(en Polanco y Sánchez, 2004)

El método empleado es el de diluciones decimales seriadas con posterior siembra del inóculo de cada dilución en placas de Agar Plate Count, Agar Jensen y Agar Sabouraud glucosado.

1. Pesar 10 g de la muestra y depositarla en un recipiente conteniendo 90 ml de solución salina estéril.
2. Homogenizar durante 30 segundos.
3. Realizar diluciones decimales con 9 ml de solución salina estéril más 1 ml de la dilución anterior.
4. Pipetear 1 ml de las tres diluciones por triplicado en placas de Petri estériles.
5. Verter en cada placa de Petri el agar fundido (agar Plate Count para bacterias heterótrofas aerobias mesófilas y termófilas, agar Jensen para actinomicetos y agar Sabouraud glucosado con antibiótico para hongos filamentosos) y temperado a 44-46 °C. Mezclar inmediatamente.
6. Incubar las placas de Petri a 20 °C durante 48 horas (bacterias heterótrofas aerobias mesófilas), 42 °C x 48 horas (bacterias heterótrofas termófilas), 37 °C x 48 horas (actinomicetos) y a temperatura ambiente x 72 horas (hongos filamentosos).
7. Transcurrido el tiempo proceder al recuento de colonias desarrolladas y expresar los resultados como unidades formadoras de colonias por ml (UFC / ml).

## **ANEXO 5**

### **Determinación de características físicas del compost** (en Avendaño, 2003)

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Tamaño de las partículas	2 - 5 cm
Textura	Suelto, granular
Color	Marrón oscuro – negro ceniza